利用溫氏捕植螨綜合防治草莓二點葉蟎(*Tetranychus urticae* Koch)

王前智[1]、施劍鎣[1,3]、蘇紀昌[1]、李采粉[1]、許乃日[1]、白桂芳[2]

[1]台中市　國立中興大學昆蟲學系

[2]彰化縣　台中區農業改良場

[3]通訊作者

摘　要

本省產溫氏捕植螨 (*Amblyseius womersleyi* Schicha) 雌成螨捕食二點葉蟎 (*Tetranychus urticae* Koch) 之捕食率及產卵率與食餌密度成正比。溫氏捕植螨在長方形面積為 5 × 15 cm^2 的載台較其他面積載台具較高的食餌利用效率。每載台上每天餵食二點葉蟎卵及幼蟎 (0.01 g 或 0.005 g) 之捕植螨密度比每天餵食二點葉蟎若蟎及成蟎 (0.01 g 或 0.005 g) 多；每日供餌量愈多，捕植螨密度愈高，但捕植螨對單位食餌之利用率則較低。每日固定餵食 0.01 g 葉蟎卵及幼蟎所獲之捕植螨族群密度最高，且維持此高密度時間最長，為大量飼育溫氏捕植螨時之最適供餌量。田間及網室內釋放溫氏捕植螨或捕植及殺菌劑施藥時機均顯著有效抑制二點葉蟎密度，且低於未釋放區。生物防治及綜合防治區之捕植螨密度及出現頻度較高。田間釋放捕植螨可有效防治二點葉蟎達 12 週或全季。於草莓定植 3.5 個月後（一月中旬之二期花果生產期）的自然防治區（未釋放捕植螨及未施藥區），雖因溫氏捕植螨的遷入且快速建立高密度捕植螨族群，但已失去防治葉蟎的適期。網室內溫氏捕植螨可於 2-4 週內迅速抑制及有效防治葉蟎族群，之後因短期內食餌急速消耗殆盡，致捕植螨族群滅絕，因此未能對後期 (6-8 週）侵入的葉蟎族群產生防治效果。

捕植螨釋放可配合選擇性殺蟲劑及殺菌劑施用，除有效防治二點葉蟎外，亦防治蟲害及減少病害之發生。釋放溫氏捕植螨或配合化學藥劑均顯示該捕植螨防治二點葉蟎之效果，顯然溫氏捕植螨與選擇性殺蟲劑及殺菌劑具相容性，並可減少殺蟎劑之施用。總之，利用溫氏捕植螨防治二點葉蟎有其實用價值。

關鍵詞：二點葉蟎、溫氏捕植螨、功能反應、大量飼育、綜合防治

前　言

草莓是台灣高經濟價值的生鮮作物，栽培面積達 400 公頃以上。草莓栽培期間易受二點葉蟎 (*Tetranychus urticae* Koch) 之危害，嚴重時造成葉片白斑、黃化甚至落葉、生長勢衰弱，影響產量與品質甚鉅 (6,13,14,33,57)。藥劑防治葉蟎易發展葉蟎之抗性，次要害蟲猖獗及藥劑殘留等問題 (3,17,19,41)。利用及釋放捕植蟎防治二點葉蟎以取代藥劑使用的防治模式，在世界各國行之有年，且成效卓著 (15,31,53)。目前葉蟎之捕植蟎天敵已有英國、美國及荷蘭等私人公司出售捕植蟎，其售價每隻捕植蟎新台幣 0.85-1.15 元，而本研究小量繁殖每隻純捕植蟎約在新台幣 0.4-0.5 元，一旦證實其有效並大量飼養降低成本，必具實用之經濟價值。

美國以低溫冷藏苗而本省農民利用前一年母株所生之匍匐株種植草莓，因此葉蟎通常在草莓育苗期就易發生。傳統草莓葉蟎管理多依賴化學藥劑，然因高密度栽培之草莓生產期，草莓葉片不斷增生、葉蟎吐絲造巢、棲息葉背、抗藥性發展快速等特性，影響了化學防治的效果。葉蟎的天敵主要包括捕食性天敵和微生物天敵，但未發現寄生性天敵 (34)，其中捕植蟎 (Phytoseiid mites) 對葉蟎族群最具防治潛力，主要有 *Phytoseiulus*、*Amblyseius* 和 *Typhlodromus* 三屬較為重要被廣泛利用。大量繁殖及釋放防治葉蟎的捕植蟎類包括：智利捕植蟎 (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot)、法拉斯捕植蟎 (*Amblyseius fallacis* (Garman))、溫氏捕植蟎 (*Amblyseius womersleyi* Schicha)、梨捕植蟎 (*Typhlodromus pyri* Schenten) 等 (46,47,48,54,60)。

溫氏捕植蟎具高增殖率 (rm=0.194-0.320)，短發育期 (5.02-5.69 天) 及高捕食量 (172 神澤氏葉蟎卵 / 捕植蟎， 280-286 二點葉蟎卵 / 捕植蟎)(32,49)。Chang (4) 指出在實驗室中增加花粉及人工飼料可提高溫氏捕植蟎的產卵量和子代性比。

Sabelis (43) 認為天敵對葉蟎的數量反應為選擇有效天敵之重要標準，並以 rm 值作為評估的基準。大量釋放天敵以迅速達到抑制葉蟎族群的效果，則決定於天敵的捕食力、搜尋能力以及與標的害蟲的同律性 (22)。測定捕植蟎的捕食和搜尋的能力，則可由捕食者對⑴捕食者密度，⑵食餌 (葉蟎) 密度，⑶葉蟎分布的反應關係作判斷。

食餌密度對捕植蟎族群的存活率、發育率、族群的增殖率和子代性比影響甚鉅 (10,11,16,29,39)。Momen (1996)(35) 證實當食餌密度增加時，*A. barkeri* 及 *P. persimilis* 的子代性比也隨之升高，並且食餌種類亦會影響捕植蟎之數量反應。Shih et al. (1993)(50) 報導 *Amblyseius ovalis* (Evans) 僅取食人工飼料時無法完成

其生活史，*A. ovalis* 取食不同葉蟎則會有不同之發育期，若取食 *Oligonychus mangiferus* 及玉米花粉，*A. ovalis* 表現高的繁殖率、存活率、內在增殖率以及雌成蟎壽命。溫氏捕植蟎內在增殖率高，生活史短及在食餌匱乏的情況下，會延長其發育期，且在田間植株內之族群分布與葉蟎之垂直分布能相互配合。利用人工載台進行捕植蟎大量飼育所需空間較小，操作及收獲簡易、流程較易掌控和觀察及生產純而無污染之天敵等優點，更能配合自動化操作的生產流程。

捕植蟎對食餌的專一性高低，是聚集反應 (aggregative response) 重要的決定因子。Zhang et al. [67] 及 Zhang and Sanderson [62,63] 指出 *A. andersoni* (broadly polyphagous mite)、*T. occidentalis* Nesbitt (narrowly polyphagous mite) 和 *P. persimilis* (oligophagous mite) 三種捕植蟎對 *T. urticae* 的聚集反應隨食餌專一性程度而增高。Holling [20,21] 以圓盤模型描述捕食者的捕食量和食餌密度間之關係；Royama (1971)[42] 與 Rogers (1972)[40] 提出逢機捕食者公式 (Random predator equation) 或食餌消耗公式 (prey depletion equation) 彌補 Holling's disk equation 模式中未考量食餌消耗虧損 (deplection)。Curry and Feldman (1979)[7] 進而考量個體之攻擊率及處理時間上的變異性，轉換上述公式成隨機模型 (Stochastic model)，致捕植蟎對不同食餌及密度之補食量得以確認。

族群模式測試釋放捕植蟎之適期及釋放量對葉蟎之防治效果，並與化學防治效果比較，期能減少藥劑之使用及完全生物防治葉蟎。依大量飼育捕植蟎類天敵與其釋放效果，進行數量化之探討，其結果將有助大量飼育、田間保育及放大捕植蟎之實際利用。

材料與方法

飼育食餌之準備

浸種及催芽：

將 300 公克 (約 500 顆) 的花豆 (*Phaseolus vulgaris L*) 置於小塑膠籃 (38.5 × 31 × 9 cm) 之籃底，籃格之孔徑為 1 × 0.5 cm 。將小塑膠籃放入一長 40 × 35 × 10 公分的大塑膠盆中，注入每分鐘 4.5-6 公升流量的地下水浸泡花豆，經 12-24 小時後將已吸飽水的花豆連同小塑膠籃移置在陰涼處，每日洒水三次保持濕潤避免豆種因乾燥而死亡。24-36 小時後移出經催芽發芽之花豆。

豆苗種植及食餌葉蟎之飼育與收集

從催芽處理後的花豆中挑除患病、未發芽或發芽不完整的豆種，將篩選後的豆種以每 45 顆平均撒於小塑膠籃中，每兩個小塑膠籃為一組、平行置於一長 61.5 ×

42 × 9.5 公分的塑膠儲運箱槽中，利用不銹鋼鐵絲將小塑膠籃架離儲運槽底部 7 公分處，並注入約 10 公升的地下水於其中。調整不銹鋼鐵絲高度使小塑膠籃的底部浸於水中。底部利用螺帽固定兩條 52 公分氣泡條，每日 24 小時供以 3 L/min 的空氣，每日洒水三次避免未浸到水的花豆乾枯而死亡。

待花豆第一對眞葉展開後，接種 3 株具二點葉蟎之豆株，每株約含 3,000 隻二點葉蟎。於接蟲後 (10-14 天) 及待花豆豆葉邊緣已有少量葉蟎聚集成球時，進行沖洗及收集葉蟎。

沖洗、收集及冷藏食餌葉蟎

利用強力水柱將葉上的二點葉蟎沖下，沖出物及葉蟎經過三層篩網，其孔徑分別爲 0.25 、 0.149 、 0.088 mm ，將葉蟎分篩爲卵和幼蟎 (以下簡稱爲 E+L) 以及成蟎和若蟎 (以下簡稱爲 A+N) 。再利用微量的水柱分別將篩下的 E+L 及 A+N 從篩網中沖下，並置於兩層紙巾上陰乾。經 20-30 分鐘，待紙巾完全陰乾後利用刷蟎機將紙上的 E+L 及 A+N 分別刷下，葉蟎分別包封於包藥紙及夾鏈袋中，並冷藏於 4 °C下。所獲葉蟎做爲捕植蟎的食餌，部分 A+N 則做爲接蟲蟲源，重新接回新的花豆植株上，供繼續繁殖。

飼育載台之準備

置一塊長 20 × 10 × 4 公分的吸水海綿於 22 × 13 × 7 公分的塑膠盒內，注水入盒內至海綿頂面下 0.5 公分處，其上放置一塑膠板周圍 1 公分的邊緣圍上兩層吸水紙，吸水紙一端浸入水中以保持吸水紙的濕潤。該等設置除了可供應捕植蟎飲水來源外，另可作爲防止捕植蟎逃跑的第一層壕溝。另外塑膠盒壁與海綿間的水渠可做爲防止捕植蟎逃跑的第二層防禦線，每日應補充水份保持水位在海綿下 0.5 公分以上，此種設置以下簡稱飼育載台。

試驗用捕植蟎之準備

由苗栗縣大湖鄉及卓蘭鎮採得溫氏捕植蟎蟲源，經純化後在 27 ± 1 °C， 75 ± 10 % RH 及 13L:11D 的走入式恆溫箱中飼育兩代以上成爲試驗母族群。從母族群中利用 00 號白圭毛筆將 30 隻混合齡期之捕植蟎若蟎和幼蟎爲一組，挑入一已放置充足 E+L 食餌的飼育載台中，每日再補充少許食餌。食餌充足與否可自觀察飼育載台四周是否有游走的捕植蟎予以判斷，並隨時補充食餌。每日觀察並將剛蛻皮的一日齡雌捕植蟎成蟎挑入另一個已放置充足 E+L 食餌的飼育載台中，兩日後將雌成蟎挑起放入一乾淨的飼育載台中，經 24 小時後得到飢餓 1 日的 4 日齡雌成蟎 (以下簡稱 4D 捕植蟎) ，以供試驗之用。

溫氏捕植蟎之功能反應

將二點葉蟎雌成蟎用白圭毛筆挑入已備妥的試驗載台上，所挑入的二點葉蟎雌成蟎則依試驗所需的葉蟎卵數而做調整，葉蟎雌成蟎經六小時產卵後，以白圭毛筆挑除該等葉蟎雌成蟎及多餘之卵，此種裝置以下簡稱接卵載台。

接卵載台內的卵數經挑除及調整其密度，令每載台葉蟎卵數分別為 2 、 4 、 8 、 16 、 32 、 48 、 64 卵 / 載台，再挑入一隻 4D 捕植蟎，每處理組重複 10 次以上，置於溫度 27 ± 1 °C，濕度 75 ± 5% RH 及 13D:11L 之生長箱中進行測試。經 24 小時後觀察記錄各捕植蟎在不同葉蟎卵密度載台的捕食量和產卵量。於觀察時若捕植蟎已不在其上則以逃跑記錄之，並判定該重複試驗失敗，並另補做此重複組試驗，令各測試組重複數達 10 重複為止。

給餌量對溫氏捕植蟎族群密度之影響

溫氏捕植蟎在 27 ± 1 °C， 70-90 % RH ， 13L ： 11D 的走入型生長箱中飼育兩代以上，再經放大飼育後作為試驗的母族群。自母族群中挑出 400-500 隻已交配過的雌成蟎於 " 飼育台 " 上產卵一天後，將雌成蟎挑走，待 " 飼育台 " 上捕植蟎發育至 3-5 日齡成蟎時，作為本試驗之材料。

供餌量

" 飼育台 " 上每日投以二點葉蟎卵-幼蟎 (E ＋ L) 0.01 g (1576.2 ± 287.8 粒)，再移入 10 隻 3-5 日齡之雌成蟎。於第 3 、 7 、 11 、 15 、 19 、 23 、 27 、 31 天在解剖顯微鏡下觀察計算 5" 飼育台 " 上捕植蟎各齡期的數量。有鑑於捕植蟎各期及卵常躲藏於投入之食餌及其屍體下，觀察時須破壞飼育台上捕植蟎棲所及挑離已記數之捕植蟎方能精確計算其數量。

迴歸分析方法

捕植蟎族群於各處理下各齡期數量與時間之關係，依直線模式 ($Y=b_0+b_1X$) 、 Sigmoid 模式 ($Y=b_0/(1+b_1*\exp(-b_2*X))$) 及圓盤模式 ($Y=b_0*X/\ (1+b_0*b_1*X)$(以下簡稱為第二型公式)，利用 proc reg 及 proc nlin 擬合最適回歸方程式及計算公式中之個別參數 (b_0 、 b_1 、 b_2) 。不同處理下捕植蟎密度間之比較，則採用 t-test 及 ANOVA 分析其差異情形。

捕植蟎收獲及釋放：

溫氏捕植蟎自飼育載台上以吸蟎器吸起及置入壓克力瓶內 (直徑 4 cm X 高 6 cm) ，封上塑膠蓋，攜至田間。釋放捕植蟎時，將塑膠封蓋換成具 6-8 孔 (每孔直徑 1-1.5 mm) 的蓋頂，以利直接將捕植蟎均勻撒播於草莓植株。溫氏捕植蟎於

2000 年與 2003 年分別於苗栗縣大湖鄉選定四區獨立草莓田及兩棟塑膠布頂的設施網室內釋放，依不同管理方法區分為：1. 綜合防治區，2. 生物防治區，3. 設施網室生物防治區。

1. 綜合防治區：依農友防治葉蟎方式，每週噴施殺蟲劑，殺蟎劑及殺菌劑，該化學防治區面積約 3.3 分地以下簡稱為 W2 區；另擇不相鄰，但相同管理方法及同一農友擁有之 3.4 分地草莓園釋放 7,000 隻溫氏捕植蟎（約 21,500 隻 / 公頃）之測試區，以下簡稱為 W1 。本區於天敵釋放後不再施噴殺蟲劑及殺蟎劑，殺菌劑減量施用。

2. 生物防治區：於苗栗區農業改良場大湖工作站內選 2 分地草莓園 (C1) 釋放 6,500 隻溫氏捕植蟎（約 35,000 隻 / 公頃）；另於場區內擇草莓園一分地作為未釋放天敵之對照區 (C2) 。生物防治區（釋放及未釋放天敵區）內皆不施用殺蟲劑、殺蟎劑及殺菌劑。

3. 設施網室草莓葉蟎之生物防治區：於苗栗區農業改良場大湖工作站內擇二棟每棟 0.25 分地之設施網室，於其中一棟釋放 1,000 隻捕植蟎（約 21,000 隻 / 公頃），該棟天敵釋放區以下簡稱為 T1 ；另一棟為比較對照的未釋放天敵區 (T2) 。網室內不施用殺蟲、殺蟎及殺菌劑。

葉蟎及捕植蟎密度調查及資料檔之建立：

2000-2001 年：捕植蟎及葉蟎之密度取樣調查係自釋放捕植蟎之當日（ 12 月 20 日）及釋放後每二週逢機取樣一次，至草莓收成（約 2001 年 3 月 14 日或 12-14 週）止，共調查 6-7 次。每次於 W1 、 W2 、 C1 及 C2 區逢機採樣 20 片複葉，於 T1 及 T2 區逢機採樣 40 片之中央單小葉，攜回實驗室於顯微鏡 (10 X) 下，計算及紀錄葉蟎與捕植蟎各期之蟎數。

2002-2003 年：捕植蟎及葉蟎之密度取樣調查係自釋放捕植蟎之當日（ 12 月 20 日）及釋放後每週逢機取樣一次，至草莓收成（ 2003 年 3 月 27 日）止。每次於逢機採樣 50 片複葉，攜回實驗室以刷蟎機刷下，於顯微鏡 (10 X) 下，計算及紀錄葉蟎與捕植蟎各期之蟎數。

將田間獲得之資料依取樣日期、各試驗設計區及葉蟎卵數、幼蟎數、若蟎數、雌成蟎數及雄成蟎數，捕植蟎卵數、幼蟎數、若蟎數、雌成蟎數及捕植蟎雄成蟎數等欄位輸入資料庫中，供分析之用。天敵釋放區與對照區之葉蟎與捕植蟎密度變動資料依取樣時間，逐一進行檢定，以了解管理方式與釋放天敵對葉蟎密度之影響及防治期。

結果

人工載台大小及每日供餌量之評估

1. 捕食率、捕食潛能—評估載台大小及供餌量

溫氏捕植蟎於 1 × 4 cm² 、2 × 8 cm² 、3 × 12 cm² 和 5 × 15 cm² 長方形試驗載台上捕食二點葉蟎卵的捕食率隨食餌密度增加而升高（表一），並於食餌密

表一、溫氏捕植蟎在不同面積之長方形塑膠載台上產卵率受二點葉蟎卵密度之影響

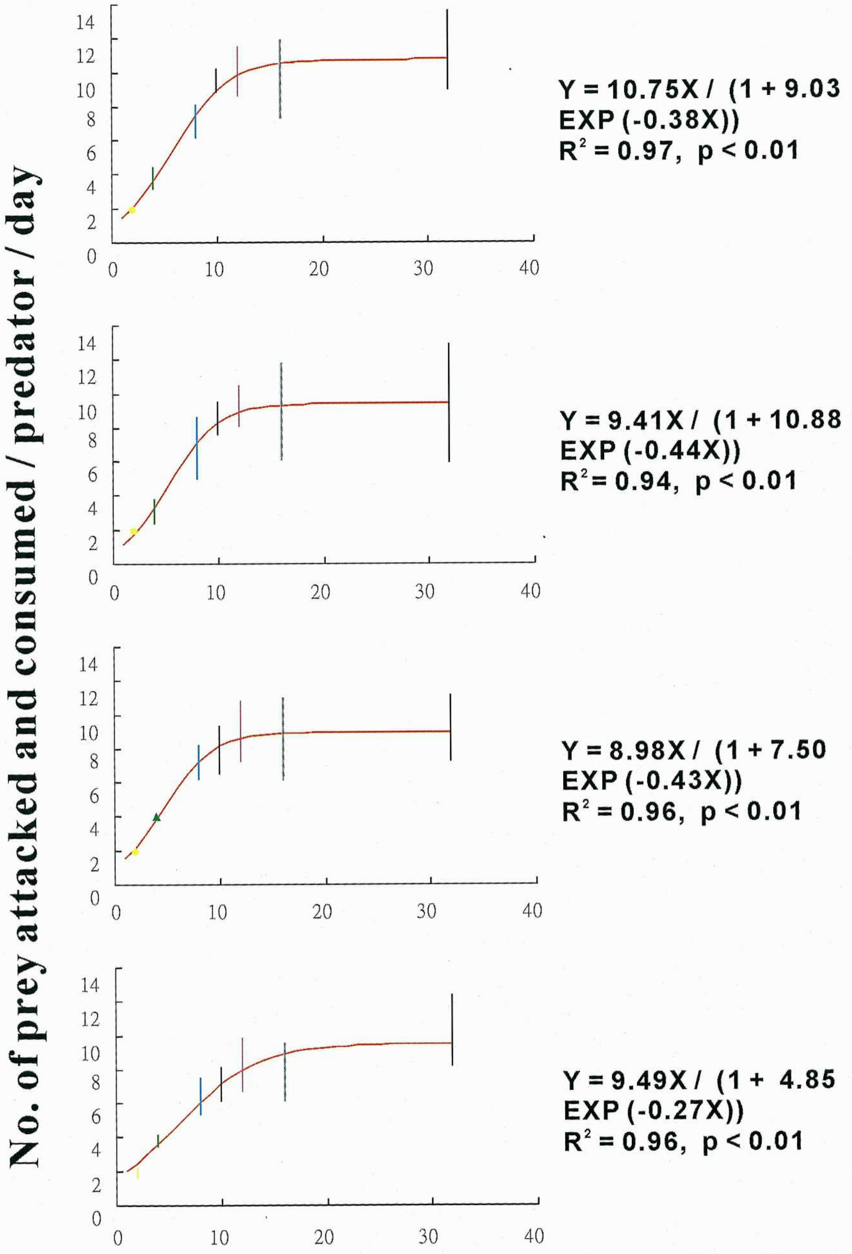
Table 1. Influences of prey densities on daily reproduction rates of *Amblyseius womersleyi* feeding on *Tetranychus urticae* at different sizes of rectangular polyethylene arenas

Daily reproduction rates (No. eggs / predator / day) [1]and universes

Prey density	1x4 cm²		2x8 cm²		3x12 cm²		5x15 cm²	
	N	mean	N	mean	N	mean	N	mean
2	10	0 (0)[a]	10	0 (0)[a]	11	0.1 (0.30)[a]	12	0 (0)[a]
4	10	0.4 (0.52)[a]	10	0.4 (0.52)[a]	10	0.2 (0.42)[a]	14	0.3 (0.47)[ab]
8	10	1.2 (0.63)[b]	10	0.4 (0.52)[ac]	10	0.7 (0.48)[b]	11	0.6 (0.52)[bc]
10	10	1.5 (0.71)[b]	10	1.0 (0.47)[d]	12	0.8 (0.39)[b]	10	1.0 (0.94)[cd]
12	11	1.6 (0.50)[b]	11	1.1 (0.54)[d]	10	0.8 (0.42)[b]	11	0.7 (0.65)[bd]
16	10	1.0 (0.82)[b]	10	0.6 (0.52)[cde]	12	1.1 (0.79)[b]	12	0.9 (0.51)[c]
32	10	1.5 (0.53)[b]	10	0.9 (0.74)[de]	11	0.9 (0.7)[b]	10	1.1 (0.57)[d]

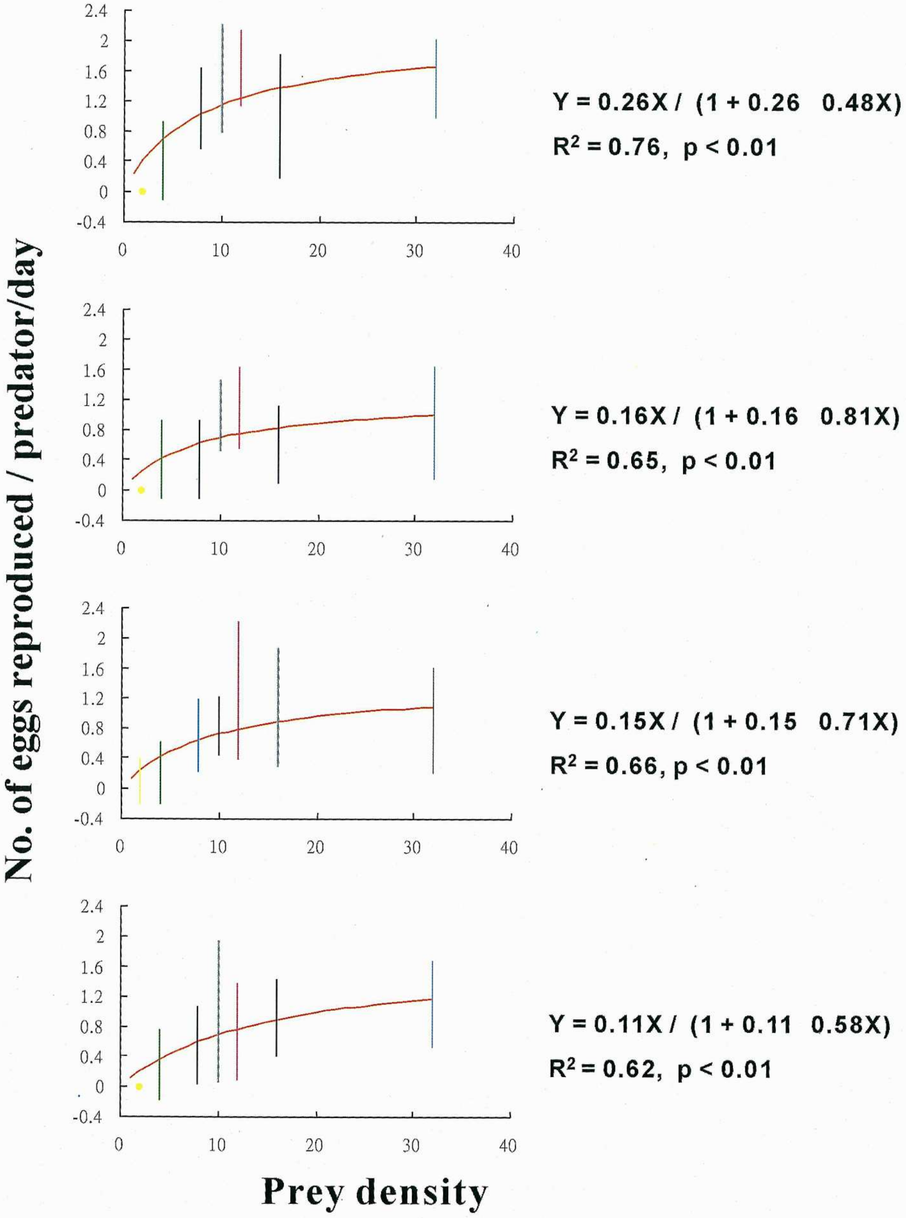
Means followed by the same letter are not significantly different according to the Least Significant Different test at p = 0.05 level

度 10 ～ 12 prey/arena ，達到最高，其捕食率曲線之迴歸方程式如圖一。依所獲迴歸方程式推估溫氏捕植蟎於長方形試驗載台 1 × 4 cm² 、2 × 8 cm² 、3 × 12 cm² 和 5 × 15 cm² 上的最高捕食潛能值依次為 10.753 ，9.410 ，8.975 ，9.494 。其中以 1 × 4 cm² 載台為最高，2 × 8 cm² 試驗載台為最低。2 × 8 cm² 和 3 × 12 cm² 捕食率曲線相當地接近，5 × 15 cm² 的捕食率曲線不同於其他長方形載台的捕食率曲線：在未到達捕食率曲線高原前，於食餌密度 2-4 prey/arena 時，溫氏捕植蟎於 5 × 15 cm² 載台的捕食率較其他長方形載台為高，而後在食餌密度 8-16 prey/arena 時，溫氏捕植蟎捕食率則反而較低。溫氏捕植蟎於長方形試驗載台上處理時



圖一、溫氏捕植蟎在不同面積之長方形塑膠載台上捕食率受二點葉蟎卵密度之影響

Fig. 1. Influences of prey densities on daily predation rates of *Amblyseius womersleyi* feeding on *Tetranychus urticae* eggs on different sizes of rectangular polyethylene arenas



圖二、溫氏捕植蟎在不同面積之長方形塑膠載台上產卵率受二點葉蟎卵密度之影響

Fig. 2. Influences of prey densities on daily reproduction rates of *Amblyseius womersleyi* feeding on *Tetranychus urticae* eggs on different sizes of rectangular polyethylene arenas

間 (Th) 在 0.093-0.111 之間，瞬間攻擊率 (a) 落在 0.271-0.439 之間（圖二）。處理時間之最高值出現在 312 cm^2 載台，最低值出現在 1 × 4 cm^2 載台。攻擊率之最高值出現在 2 × 8 cm^2 載台，最低值出現在 5 × 15 cm^2 載台。溫氏捕植蟎於 1 × 4 cm^2 試驗載台的處理時間 (0.093) 顯著低於其他長方形載台 (p=0.1)。溫氏捕植蟎於 5 × 15 cm^2 試驗載台的瞬間捕食攻擊率 (0.271) 顯著低於其他長方形載台 (p=0.1)。

2. 每日捕食量對產卵量之轉換效率

溫氏捕植蟎捕食不同二點葉蟎卵密度的每日產卵率間的差異並不顯著（表二）。

表二、溫氏捕植蟎在不同面積之長方形塑膠載台上產卵率受二點葉蟎卵密度之影響

Table 2. Influences of prey densities on daily reproduction rates of *Amblyseius womersleyi* feeding on *Tetranychus urticae* at different sizes of rectangular polyethylene arenas

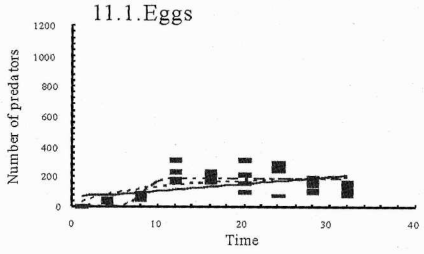
Daily reproduction rates (No. eggs consumed / predator / day) [1]and universes

Prey density	1x4 cm^2		2x8 cm^2		3x12 cm^2		5x15 cm^2	
	N	mean	N	mean	N	mean	N	mean
2	10	0 (0)^a	10	0 (0)^a	11	0.1 (0.30)^a	12	0 (0)^a
4	10	0.4 (0.52)^a	10	0.4 (0.52)^a	10	0.2 (0.42)^a	14	0.3 (0.47)^{ab}
8	10	1.2 (0.63)^b	10	0.4 (0.52)^{ac}	10	0.7 (0.48)^b	11	0.6 (0.52)^{bc}
10	10	1.5 (0.71)^b	10	1.0 (0.47)^d	12	0.8 (0.39)^b	10	1.0 (0.94)^{cd}
12	11	1.6 (0.50)^b	11	1.1 (0.54)^d	10	0.8 (0.42)^b	11	0.7 (0.65)^{bd}
16	10	1.0 (0.82)^b	10	0.6 (0.52)^{cde}	12	1.1 (0.79)^b	12	0.9 (0.51)^c
32	10	1.5 (0.53)^b	10	0.9 (0.74)^{de}	11	0.9 (0.7)^b	10	1.1 (0.57)^d

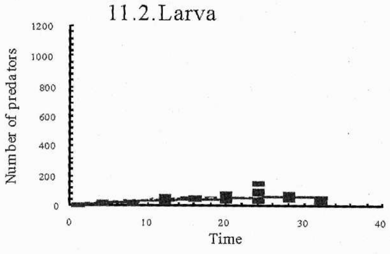
Means followed by the same letter are not significantly different according to the Least Significant Different test at p = 0.05 level

依圓盤模式 $r_0=(b_0 \times N)/(1+b_0 \times b_1 \times N)$[21] 及擬合迴歸方程式得溫氏捕植蟎捕食不同二點葉蟎卵密度 (N) 時的每日每雌產卵量 (r_0)（圖三）與溫氏捕植蟎產卵潛能 ($1/b_1$：每日最高產卵量）。產卵潛能與捕食潛能 (T_t/T_h：最高捕食量）之比值 [$(1/b_1)/(T_t/T_h)$] 用以表示捕植蟎在食餌充足條件下每消耗一隻食餌個體所轉換至產卵量的轉換效率（以下簡稱轉換效率）（表三）。長方形載台 (1 × 4 cm^2、2 × 8cm^2、3 × 12 cm^2 和 5 × 15 cm^2) 中以 1 × 4 cm^2 載台的轉換效率最高 ($1/b_1$=2.065；$(1/b_1)/(1/T_h)$=0.192)，2 × 8 cm^2 載台上最低 ($1/b_1$=1.241；$(1/b_1)/(1/T_h)$=0.132)。

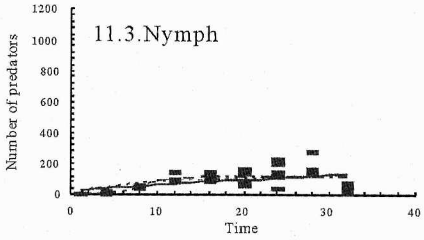
二點葉蟎卵-幼蟎不同給餌量對溫氏捕植族群增殖量之關係—評估每日供餌量



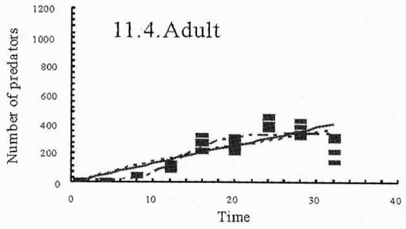
Y1=60.162+4.728*X;R-square=0.281, p<0.01
Y2=188.775/(1+47182.566*EXP(-1.283*X));Rsquare=0.889, p<0.01
Y3=28.883*X/(1+28.883*0.004*X);R-square=0.840, p<0.01



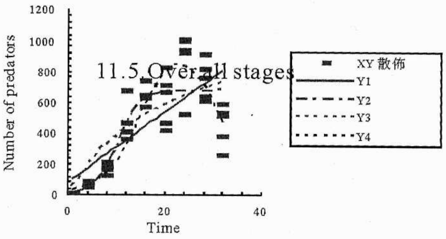
Y1=8.701+1.733*X;R-square=0.326, p<0.01
Y2=54.894/(1+59.642*EXP(-0.401*X));R-square=0.778, p<0.01
Y3=4.865*X/(1+4.865*0.011*X);R-square=0750, p<0.01



Y1=24.585+3.613*X;R-square=0.291, p<0.01
Y2=117.933/(1+212.067*EXP(-0.610*X));R-square=0.793, p<0.01
Y3=13.008*X/(1+13.008*0.005*X);R-square=0.758, p<0.01



Y1=-7.996+12.525*X;R-square=0.732, p<0.01
Y2=337.299/(1+190.321*EXP(-0.389*X));R-square=0.949, p<0.01
Y3=15.787*X/(1+15.787*0.000*X);R-square=0.906, p<0.01



Y1=86.110+22.568*X;R-square=0.559, p<0.01
Y2=677.367/(1+92.289*EXP(-0.443*X));Rsquare=0.940, p<0.01
Y3=55.939*X/(1+55.939*0.001*X);R-square=0.891, p<0.01
Y4=(800/(1+70*exp(-0.2495*X)))*(0.001*X^2.0915)+2)R-square=0.945, p<0.01

圖三、每天餵食二點葉蟎卵及幼蟎 0.01 克之捕植蟎族群各齡期密度與時間之迴歸線

Fig 3. The fitted regression equations of the population growth of *A. womersleri* (Y) feeding daily on 0.01 g eggs-larvae of *T. urticae*

表三、溫氏捕植蟎於不同形狀及面積載台上之理論最高生殖率、食餌處理時間及最大食餌-產卵轉換率

Table 3. Maximum food-productive exchange rates of *Amblyseius womersleyi* feeding on *Tetranychus urticae* eggs at different sizes of rearing universes

Universe[2]	$b_1^{(1)}$	$b_0^{(2)}$	Max. food-reproductive exchang rate $(1/b_1)/(b_0)$
2 × 2 cm^2-1	0.524	0.084	0.161
2 × 2 cm^2-2	0.620	0.097	0.157
4 × 4 cm^2	0.649	0.094	0.145
6 × 6 cm^2	0.476	0.096	0.201
1 × 4 cm^2	0.484	0.083	0.192
2 × 8 cm^2	0.806	0.106	0.132
3 × 12 cm^2	0.706	0.111	0.158
5 × 15 cm^2	0.577	0.105	0.183
Dia. 2cm	0.313	0.078	0.249
Dia. 3cm	0.478	0.094	0.197
Dia. 4cm	0.705	0.104	0.147
Dia. 7cm	0.499	0.101	0.203
Dia. 10cm	0.799	0.116	0.145

表四、於不同二點葉蟎卵及幼蟎食餌量下，溫氏捕植蟎之族群數量變化

Table 4. Population growth of stage specific *A. womersleri* with different daily-food-volume supplies of eggs and larvae (EL) of *T. uricae*

Days after rearing	N	No. of predators per 15x15cm PE-tilt-arena (mean (SD))[1]									
		Eggs		Larvae		Nymphs		Adults		Total	
		0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005
3	5	37.6 (7.3)	48.8 (12.4)	12.0 (6.7)	14.8 (12.4)	9.4 (4.6)	8.8 (1.9)	8.4 (0.5)	9.2 (1.8)	67.4 (15.9)	81.6 (17.4)
7	5	67.4 (18.2)	58.6 (7.5)	10.2 (6.7)	19.0*(2.5)	44.0 (9.6)	54.2 (3.8)	53.2 (4.9)	40.2*(5.0)	174.8 (28.8)	174.0 (13.1)
11	5	216.4 (60.8)	138.6 (75.5)	41.2 (15.7)	28.4 (6.3)	103.8 (26.9)	74.6 (13.5)	103.0 (22.1)	77.2*(9.4)	464.4 (120.2)	318.6 (98.3)
15	5	208.8 (26.5)	112.8*(38.8)	47.6 (6.6)	74.6 (25.0)	122.0 (22.7)	199.4*(11.8)	265.4 (47.1)	178.8*(17.0)	643.8 (57.3)	565.6 (52.2)
19	5	198.4 (80.0)	62.8*(25.2)	43.4 (21.7)	17.6 (6.8)	104.0 (46.2)	86.2 (10.9)	265.0 (44.6)	150.8*(26.1)	616.4 (172.2)	315.6*(52.0)
23	5	224.8 (85.7)	96.0*(36.5)	90.0 (41.2)	21.0*(5.7)	146.4 (73.8)	72.8 (14.8)	413.8 (36.2)	157.2*(6.8)	873.4 (204.9)	345.0*(57.5)

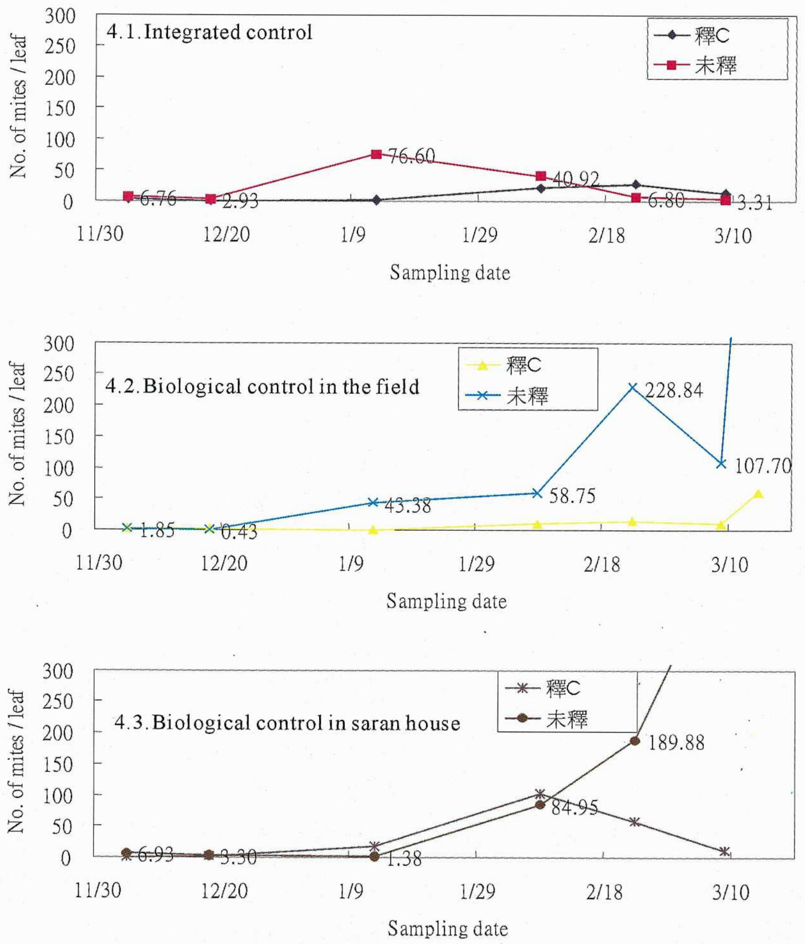
1. Means in the same row of same stage or total numbers followed with an asterisk are significantly different by student t- test at p=0.05.

每天分別餵食 0.01 g 及 0.005 g 二點葉蟎 E+L 之捕植蟎族群增殖量於第 3 天時不論卵數、幼蟎數、若蟎數、成蟎數及總數間皆無差異（表四），於第 7 天僅有幼蟎及成蟎數間差異顯著，於第 11 天時亦僅成蟎數間差異顯著，於第 15 天時每天餵食 E+L 0.01 g 之捕植蟎族群卵數、若蟎數及成蟎數間顯著高於每天餵食 E+L 0.005 g，於第 19 天時每天餵食 E+L 0.01 g 之捕植蟎族群卵數、成蟎數及總蟎數顯著高於每天餵食 E+L 0.005 g，於第 23 天時除若蟎外，其他捕植蟎族群各齡期

及總螨數以每天餵食 E+L 0.01 g 之捕植螨族群較高。該等結果顯示溫氏捕植螨在 0.005 g 之每日給餌量下，於 15-19 飼育天數之前，族群之增殖尚在正常及高增殖率狀況，但於 19-23 日，因高成螨密度及高取食量，令每日 0.005 g 給餌量不足，終於使其總螨數低於 0.01 給餌量組，且卵及成螨數亦顯著低於 0.01 g 給餌組（表四）。每日捕食 0.01 g E+L 之捕植螨於第 15-23 日均呈增殖之族群，其族群密度最高達每載台 873 ± 104.9 隻捕植螨。

溫氏捕植螨族群增殖量之數量反應

假設該捕植螨之族群密度 (Y) 變化為飼育時間 (X) 之依變因子。經迴歸分析溫氏捕植螨族群各齡期及總密度值對飼育時間之資料，獲迴歸方程式（圖四），各處



圖四、釋放溫氏捕植螨後之草莓二點葉螨密度 4.1. 綜合防治；4.2. 田間生物防治；4.3. 網室生物防治

Fig. 4. Population densities of *Tetranychus urticae* after releases of *Amblyseius womersleyi*. 4.1. Integrated control, 4.2. Biological control without chemical spray, 4.3. Biological control in saran house without chemical spray.

理組之捕植蟎族群總數與時間之關係列於表五。擬合 Sigmoid 及 disk models 所獲的迴歸方程式的 R-square (0.857-0.966) 及 p-values ($p<0.001$) 均高於直線迴歸方程式之 R-square 及 p-values。顯示 Sigmoid 型及 Disc 模式較直線模式更能完整描述捕植蟎族群的增長。

表五、餵食不同二點葉蟎食餌齡期、食餌量及給餌時間間隔之溫氏捕植蟎族群總數對飼育時間之回歸分析

Table 5. Regression analyses of population densities of *A. womersleyi* (Y) on the rearing period (day, x) under different prey stages, volumes and feeding-interval of food supplies

Food supply						
Stage	Volume (gm)	Feeding interval (days)	Regression models	Regression equation	R^2	P-value
	0.01	1	linear	Y1=86.11+22.57*X	0.559	≤0.15
	0.01	1	Sigmoid	Y2=677.37/(1+92.29*EXP(-0.44*X))	0.940	<0.001
	0.01	1	disc equation	Y3=55.94*X/(1+55.94*0.001*X)	0.891	<0.001
	0.01	1	modified sigmoid	Y4=800/(1+70*exp(-0.25*X))*(-0.001*X^2.09)+2)	0.945	<0.001
	0.005	1	linear	Y1=39.50+17.71*X	0.600	≤0.25
	0.005	1	Sigmoid	Y2=401.56/(1+51.11*EXP(-0.48*X))	0.917	<0.001
	0.005	1	disc equation	Y3=42.35*X/(1+42.35*0.001*X)	0.882	<0.001

捕植蟎田間釋放結果

草莓在大湖地區於每年 9 月底至 10 月定植入本田，於 11 月中旬起 15 天內爲第一期盛花期， 12 月中旬爲第一期漿果收穫期。葉蟎於定植後二個月內，大湖地區每週尚有局部陣雨，而 2001 年 9 月中旬尚有韋恩颱風所帶的極大雨量，將本田淹沒及沖毀畦壟，致令絕大多數農友於 9 月下旬才再重新整地種植草莓，故 2001-2002 年草莓季的盛花及收果均較往年晚 20-30 天。初期葉蟎的發生密度較往年低及延後約 20-30 天發生。依筆者在草莓調查之葉蟎資料得知，每年二點葉蟎族群於 11 月底至 12 月初侵入草莓園，於次年元月中旬及第三盛花期後開始出現高密度的族群；此後葉蟎密度逐漸增高，影響草莓的產量及品質至鉅。有鑑本試驗初期草莓葉蟎密度低及較往年晚發生或侵入，故延到 12 月 20 日才釋放溫氏捕植蟎入草莓園。

釋放溫氏捕植蟎防治草莓二點葉蟎效果評估

(1) 藥劑防治區 (W2) 及釋放溫氏捕植蟎區 (W1) 防治二點葉蟎效果評估：一般

藥劑防治區 (W2) 的人工管理（鋤草，施肥，荷爾蒙的施用，殺蟲劑及殺菌劑的噴施等）頻繁，幾乎每週均噴施殺菌劑一次或於雨後再加施殺菌劑一次，另於每盛花初期噴施荷爾蒙及每 2-3 週人工摘除老葉。於元月以後，草莓生產期共施用殺蟲、殺蟎劑五次，主要防治葉蟎外，另防治鱗翅目夜蛾科的幼蟲及草莓生產栽培後期（三月以後）的薊馬類。藥劑防治之天敵釋放區 (W1) 於天敵釋放前每週噴施殺蟲劑、殺蟎劑及殺菌劑，於天敵釋放後不再噴施殺蟲劑及殺蟎劑，但殺菌劑則於每盛花期草莓採收後施用一次。 W1 區內葉蟎族群的六週平均密度 (10.86 ± 11.57) 低於藥劑施用之對照組 (22.21 ± 30.51) ，但差異不顯著（表六）。於 1 月 11 月及 2 月 2 日（溫氏捕植蟎釋放後第 5 及 8 週）未釋放區之密度分別達 76.60 ± 17.21 及 40.92 ± 11.70 葉蟎 / 葉，顯著高於溫氏捕植蟎釋放區 (1.05 ± 2.17 ； 20.85 ± 7.94) 。

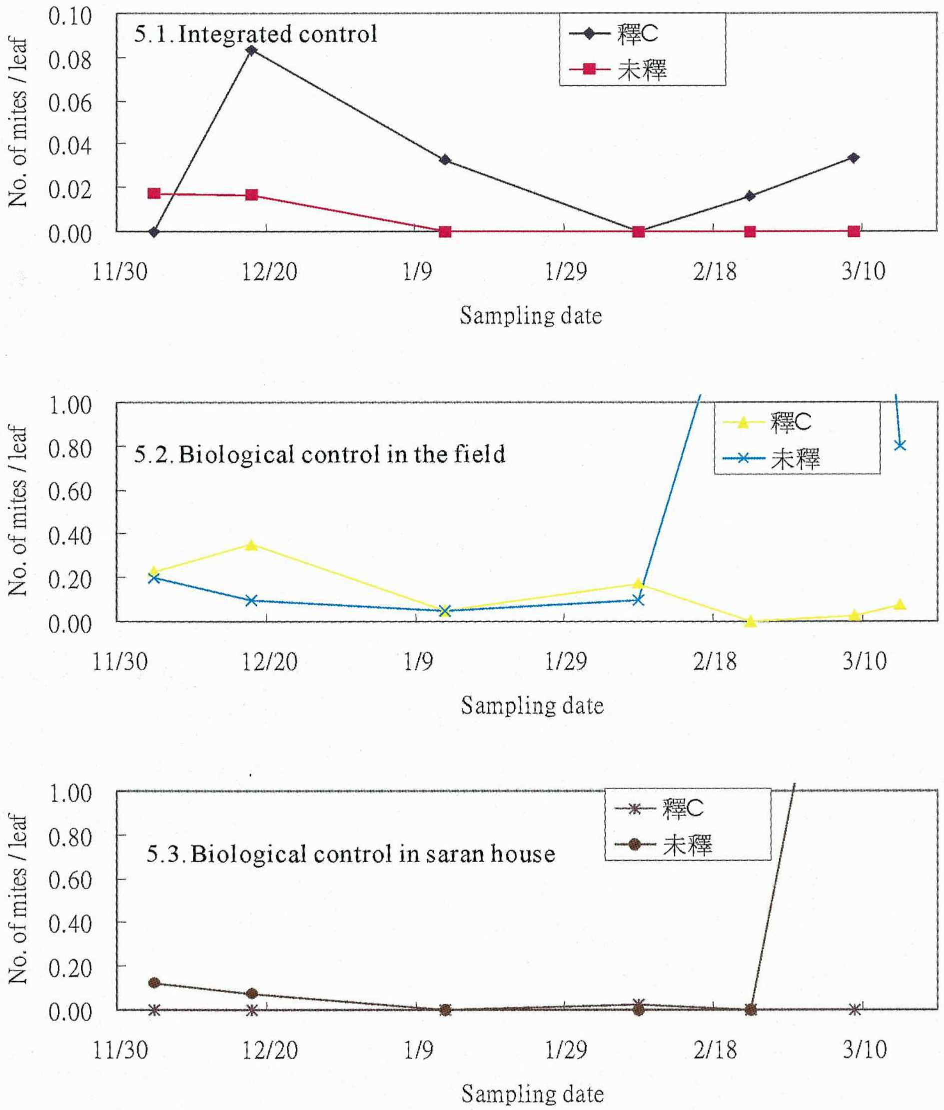
表六、生物防治、化學防治及綜合防治區內釋放溫氏捕植蟎對草莓捕植蟎密度之影響

管理栽培方式	N	葉蟎總平均密度 (蟎/複葉)[1,2] mean (SD)			溫氏捕植蟎總平均密度 (蟎/複葉)[1,2] mean (SD)		
1.一般藥劑防治區							
捕植蟎釋放區	825	10.86 (11.57)	A		0.0277 (0.0311) NS	B	
未釋放區	825	22.21 (30.51) NS		b	0.0057 (0.0088)		b
2.生物防治區							
捕植蟎釋放區	576	13.82 (21.68)	A		0.1286 (0.1270)*	A	
未釋放區	576	193.29 (326.5) *		a	0.8975 (1.2103)		a
3. 設施網室生物防治區							
捕植蟎釋放區	600	32.02 (40.70)	B		0.0042 (0.0102)	B	
未釋放區	600	130.05 (192.75)*		a	0.4412 (0.7842) NS		b
Overall mean		67.04					

1.平均蟎數後有相同大寫或小寫字母表示相對處理間依 Tukey's student range 法檢定結果差異不顯著(p = 0.05)
2.平均數後有 NS 或〝*〞表示相同管理方法下、有或未釋放捕植蟎區間依 t – test (p = 0.05)檢定結果差異不現顯著或顯著。

釋放區溫氏捕植蟎總平均密度 (0.0277 ± 0.0311) 高於未釋放區 (0.0057 ± 0.0088) （表六）。每週噴施殺蟲劑、殺蟎劑及殺菌劑等，會影響溫氏捕植蟎族群；若僅噴施殺菌劑則不影響溫氏捕植蟎族群之增值及存活於草莓園；釋放之溫氏捕植蟎更不因殺菌劑之使用而滅絕（圖五）。

釋放天敵密度爲每公頃 2.5 萬隻，另尋一不相鄰但相同管理法的對照區草莓田。 W 區草莓園的人工管理頻繁且藥劑的噴灑次數多，每次雨後均會加噴殺菌



圖五、草莓溫氏捕植蟎密度 5.1. 綜合防治；5.2. 田間生物防治；5.3. 網室生物防治

Fig. 5. Population densities of *Amblyseius womersleyi*. 5.1. Integrated control; 5.2. Biological control without chemical spray; 5.3. Biological control in saran house without chemical spray.

劑。天敵釋放區 (W1) 葉蟎的族群增長被天敵抑制有效期間約達一個月，然後才看到葉蟎族群開始升高（圖五）。相對於對照區相比葉蟎族群直到第四周後，釋放區之葉蟎密度仍低於對照區。對照區因為經常施用殺菌劑、殺蟲劑與殺蟎劑，捕植蟎密度極低（圖二）。雖然捕植蟎族群因高頻度藥劑施用，其密度顯著降低。該兩區葉蟎族群密度間仍可看出其差異性。於釋放第六周後因為接近收穫期，農民堅持進

行定期噴施各種藥劑故葉蟎與捕植蟎族群密度都下降，即使如此第八週與第十週天敵釋放區之葉蟎密度仍低於未釋放區，且農民施藥次數也由八次減為五次，減少了 37.5 % 的施藥次數。

(2) 生物防治區釋放溫室捕植蟎防治草莓二點葉蟎效果評估：無藥劑噴施之生物防治區草莓園（ 0.326 公頃）釋放 7,000 隻溫氏捕植蟎後，天敵釋放區的葉蟎總平均密度為 13.82 ± 21.68 隻 / 複葉及捕植蟎平均密度為 0.1286 ± 0.1270 隻 / 複葉（表六）。於完全無藥劑施用及天敵釋放區的葉蟎總平均數高達 193.29 ± 326.5 隻 / 複葉，捕植蟎密度亦高達 0.8975 ± 1.2130 隻 / 複葉。天敵釋放二週以後，葉蟎密低遠低於未釋放區（圖五），並且未釋放區葉蟎密度自第 2-4 週起即急速增高（圖五），並於草莓栽培中後期（ 2002 年 1-3 月）葉蟎族群均維持於極高的密度，甚至在後期葉蟎總數高於六試驗區總平均葉蟎數（ 67.04 隻 / 複葉）（表六）。 C1 釋放天敵密度為每公頃 3.5 萬隻， C2 為未釋放天敵之對照區。天敵釋放區 (C1) 的葉蟎族群密度均低於對照區 (C2) ， C2 區的葉蟎族群高密度發生的時間也較早（圖一）。 C 區較 W 區少噴施藥劑，天敵存活的機率也較高，天敵釋放區之葉蟎密度低於未釋放區，且直到釋放三月後之第十二週葉蟎密度才超過每葉 50 隻，未釋放捕植蟎區於第四至六週時就已經達到每葉 50 隻。未釋放區捕植蟎族群密度於第六週後因該區葉蟎密度升高，捕植蟎之密度也隨之升高甚至於第八、十、十二及十四週密度都高過於釋放區（圖五），於第八週葉蟎族群密度已經高達 50 蟎 / 葉以上，其後（第十至十四週）均高於 100 葉蟎 / 葉；故捕植蟎於高密度葉蟎族群發生後，短期內 (4-5 週）低密度之天敵未克及時有效抑制葉蟎族群（圖五）。

(3) 網室栽培區草莓室內釋放溫氏捕植蟎防治二點葉蟎：網室栽培草莓區釋放每公頃 20,000 隻天敵防治二點葉蟎結果如表四。天敵釋放區葉蟎每複葉平均密度 (32.02 ± 40.70 隻 / 複葉），遠低於未釋放天敵組 (130.05 ± 192.75 隻 / 複葉）。網室栽培草莓區因為釋放密度較低，其捕植蟎族群密度與未釋放區間之差異較小。捕植蟎釋放後，因葉蟎於 2-6 週內之密度極低，故其族群密度亦隨之下降（圖五）。雖然未釋放區與釋放區的葉蟎密度在 2-6 週內無顯著差異，葉蟎與捕植蟎密度於第六週後開始同時上升，但到第八週時未釋放天敵區的葉蟎密度急速增加（圖五），而釋放區在第十週起之葉蟎族群密度下降。顯示在網室栽培方式下，釋放捕植蟎具抑制葉蟎效果，為達更佳葉蟎防治效果，可於 4-6 週時再增補釋放天敵一次。

討　論

利用功能反應、產卵量與轉換效率決定人工載台大小

大量飼育方法之選擇須考量單位時間、單位給餌量及單位面積下是否能生產最多的標的生物，也要考慮經濟效益，以期在最小空間最少成本的原則下，生產最大量標的生物。

溫氏捕植蟎捕食二點葉蟎卵之產卵潛能與捕食潛能之比值，用以表示捕植蟎在食餌充足條件下每消耗一隻食餌個體所轉換至產卵量的轉換效率（以下簡稱轉換效率）（表三）。長方形載台 (1 × 4 cm^2 、2 × 8 cm^2 、3 × 12 cm^2 和 5 × 15 cm^2) 上，1 × 4 cm^2 載台轉換效率最好，2 × 8 cm^2 載台上最小（表三）。由溫氏捕植蟎數量、功能反應與轉換效率之結果，利用於大量飼育載台之設計，建議 5 × 15 cm^2 長方形載台為最佳飼育載台，其原因如下：

1. 最高產卵量和食餌-產卵轉換率之最大值（面積 4 cm^2 以下的載台除外）發生於 5 × 15 cm^2 載台面積最大。
2. 溫氏捕植蟎捕食二點葉蟎卵之最高捕食潛能 ($1/T_h$) 和瞬間捕食攻擊率 (a)：5 × 15 cm^2 、6 × 6 cm^2 及直徑 7 cm 載台三者之間的 $1/T_h$ 及 a 差異並不顯著。

利用數量反應評估人工載台上捕植蟎之收獲量與收穫適期

每天餵食葉蟎 E+L 0.005 g 之捕植蟎族群的迴歸分析中以 S 型的 R-square (0.917) 最高，即表示此處理下之捕植蟎族群增長近似於 S 型曲線，若接受捕植蟎族群增長為 S 型曲線，則可由公式的理論基礎知道族群增長的最高量為 b_0 ，當族群數量為 1/2 b_0 時為族群增殖率的反曲點，在不同之給餌量、投餌時間間隔及食餌種類下，其反曲點代表的意義為：⑴於反曲點出現前之飼育期內，捕植蟎族群以指數增殖率 (Exponential type) 增加其族群豐度，並於反曲點之相對飼育日達到族群最高增殖速率，⑵於反曲點後到族群最高密度間，此時期之捕植蟎之增殖率逐漸減小到出生率與死亡率相等，⑶達族群最高密度區時，捕植蟎之增殖率與族群密度則不再增加。此處理組之族群增長的最高量為 402 隻，族群增殖率的反曲點出現於第 7-8 天間。

每天餵食葉蟎 E+L 0.01 g 之捕植蟎族群的迴歸分析中同樣以 S 型的 R-square (0.940) 為最高，若接受此處理組之捕植蟎族群增長為 S 型曲線，則捕植蟎族群於載台上之平均最高密度為 677 隻，族群增殖率的最大值出現於第 10-11 天間，但此模式無法描述族群達高密度之後族群下降的情形。本研究試著以一修正 S 型的式子

描述此處理之捕植蟎族群數量與時間之關係，其 R-square 值高達 0.945 ，且較 S 型高。接受捕植蟎族群增長如修正 S 型所描述，則捕植蟎族群增長的平均最高量爲 800 隻，族群增殖率的最大值出現於第 13-14 天間。而表四顯示之最大增殖率出現於第 15 天，較接近修正 S 型所推測之最大增殖率出現時間，而且修正 S 型所推測之族群最高量與實際觀察所得之平均最大量（ 873.4 ）接近。在此處理組下修正 S 型較能反映了實際每日餵食二點葉蟎 卵-幼蟎 0.01g 之捕植蟎密度 23 日後之族群豐度或密度降低之現象（圖四）。若修正 S 型成立亦可推測族群最高量維持的時間長短，作爲大量飼育時收穫的參考依據。

生活史之結果顯示溫氏捕植蟎之發育期需 5.25 ± 0.35 日 [30]，故第三飼育日之成蟎應爲移入 10 隻 3-5 日齡雌成蟎之存活者。 7 日以後觀察調查日之成蟎則多爲所繁殖之後代。每天分別餵食 0.01 g 及 0.005 g 二點葉蟎卵-幼蟎之捕植蟎族群增殖量於第 3 天時不論卵數、幼蟎數、若蟎數、成蟎數及總數間皆無差異（表四），於第 7 天僅有幼蟎及成蟎數間差異顯著，於第 11 天時亦僅成蟎數間差異顯著，於第 15 天時每天餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群卵數、若蟎數及成蟎數間顯著高於每天餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.005 g ，於第 19 天時每天餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群卵數、成蟎數及總蟎數間顯著高於每天餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.005 g ，於第 23 天時除若蟎外，其他捕植蟎族群各齡期及總蟎數以每天餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群較高。該等結果顯示溫氏捕植蟎在 0.005 g 之每日給餌量下，於 15-19 飼育天數之前，族群之增殖尚在正常及高增殖率狀況，但於 19-23 日時，因成蟎密度增高，所以取食量劇增，令每日 0.005 g 給餌量不足供其繁殖增殖之需，終於使其總蟎數低於 0.01 g 給餌量組，且卵及成蟎數極顯著亦低於 0.01 g 給餌組。

一次收穫載台上全部捕植蟎流程而言，每天餵食葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群平均可收穫 873.4 隻爲最高。每天餵食葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群可收穫之數量較每天餵食葉蟎卵-幼蟎 0.005 g 之捕植蟎族群高，又比每兩天餵食葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之捕植蟎族群高 [30] 。

溫氏捕植蟎族群之增殖率、增殖量及最高族群密度等爲評估大量繁殖溫氏捕植蟎之標準，於 5 × 15 cm^2 載台爲飼育單元，以每日餵食二點葉蟎卵-幼蟎 0.01 g 之方法爲溫氏捕植蟎最佳之飼育法，而 0.005 g 之投餌量能維持較長之捕植蟎族群高原期，提供較長之捕植蟎收穫期，且能收穫得 500 隻捕植蟎，有利於保種及降低飼育成本。

釋放溫氏捕植蟎防治草莓二點葉蟎之效果評估

在生物防治及綜合防治區的天敵釋放下，二點葉蟎族群密度均極顯著低於未釋

放區，但化學防治區則否（表六）。不論在設施網室或田間，溫氏捕植蟎均有效防治二點葉蟎。無殺蟎劑及殺菌劑的使用（生物防治及設施網室生物防治），又無溫氏捕植蟎的釋放時，二點葉蟎密度高達每葉 130-193 隻（表六），其密度遠高於化學防治區（ 22.21 隻 / 葉）。草莓二點葉蟎在每年 1-3 月必需加以防治，否則會嚴重危害草莓葉片，造成嚴重落葉，進而影響產量及品質。田間釋放溫氏捕植蟎區的葉蟎密度顯著低於設施網室生物防治區，此可能因網室內釋放天敵密度（ 21,000 隻 / 公頃）低於田間生物防治區（ 35,000 隻 / 公頃）及在冬季網室內溫度較高，令葉蟎族群密度增殖較快。設施網室生物防治葉蟎時，顯然需要較高的捕植蟎釋放密度。

溫氏捕植蟎釋放的田間密度低於未釋放區（表六），顯然排水渠及 7 公尺的道路上無法隔絕捕植蟎的遷移。圖五顯示葉蟎在未釋放區的密度自第四週起開始增高，於第十週以後達每葉 100 隻以上，因此捕植蟎於十週起密度急昇，影響全期密度（圖五）；反觀天敵釋放區內全期的葉蟎密度極低（圖五），捕植蟎密度在釋放後二週內增高，並維持其族群達六週於草莓園，期後則田間葉蟎密度極低而向外遷移（圖五）。化學防治及天敵釋放區內捕植蟎密度與化學防治區間差異不顯著，並且該二區的密度均遠低於生物防治區（表四）。每週 1-2 次的化學藥劑噴施雖然有效抑制二點葉蟎，但亦造成捕植蟎族群的發生，卻不能完全滅絕溫氏捕植蟎於草莓園。顯然在大湖地區釋放的溫氏捕植蟎於極短的時間內及高殺蟲、殺蟎及殺菌劑的選汰壓力下，可能會發展其抗性，惟此論點尚待進一步研究確認之。

未釋放溫氏捕植蟎試驗區內，捕植蟎均自然存在於草莓園（圖五），於化學防治區則因藥劑之噴施而滅絕（圖五）。初期設施網室隔離機制較佳，葉蟎密度太低而死亡或向外遷離草莓，終於令後期侵入的葉蟎族群，因未施藥及無天敵之抑制而猖獗發生。因此捕植蟎族群進入葉蟎族群發揮抑制作用的時機非常重要，在葉蟎族群尚未大發生前，施用較低密度捕植蟎防治葉蟎，其抑制力與有效防治時期之長短均優於葉蟎大發生後才釋放之效果。

於草莓園中利用及釋放捕植蟎可有效防治葉蟎族群密度。結果顯示釋放捕植蟎可獲約四至六週之有效防治期，雖然在這段時間之後，仍可由天敵釋放區葉蟎族群密度與未釋放區葉蟎族群密度之差異看到釋放天敵之效果，然此時葉蟎密度已經開始上升，故應於 4-6 週時再增補釋放天敵一次。因高密度之葉蟎對草莓之光合作用與蒸散作用發生危害，尤其草莓種植前期之葉蟎危害對草莓之生理影響尤大，甚至降低草莓之大小。因此在種植初期釋放天敵於 4-6 週後再增補釋放天敵，應可獲較佳之防治效果。網室內栽培之草莓在葉蟎入侵初期，需及早施用生物防治入侵之葉蟎。若未立即防治，則葉蟎族群之增殖快速，易造成草莓品質與產量上之損失。

總而言之，釋放溫氏捕植蟎防治草莓二點葉蟎與每週 1-2 次噴施殺蟲、殺蟎及殺菌劑對二點葉蟎族群密度的抑制效果間無差異，並顯著有效降低葉蟎密度達 4 週以上，設施網室內草莓二點葉蟎則需較高的捕植蟎釋放密度。釋放天敵 4 週若捕植蟎密度過低（圖五），則需補充釋放天敵，以防治後期侵入的二點葉蟎族群。草莓二點葉蟎族群於設施網室內增殖較快，密度亦較高，天敵則因較佳隔離機制及葉蟎滅絕而死亡，令後期葉蟎失控猖獗發生。

結 論

溫氏捕植蟎爲本土的捕食性蟎類，生活史短、繁殖率高及具耐水性，能適應本地於冬季清晨結上露水的環境。溫氏捕植蟎之功能反應顯示其捕食量大，隨葉蟎密度依變反應明顯，於田間可反應二點葉蟎之密度變化，提供葉蟎族群的壓制作用。功能反應與食餌轉換效率相關研究結果，提供人工飼育載台設計與投餌量之參數，利用此一資料所設計之人工載台可以於小空間內，行高密度純捕植蟎之繁殖。人工載台上捕植蟎之數量反應掌握其增殖率、捕植蟎之每載台單位產量與收穫適期。變更後之 S 形模式更確切描述捕植蟎於人工載台上之族群變動，由此推知提高飼育後期之投餌量可增加產量。顯然，評估優良天敵之特性，除考量其增殖率外，尙須考量功能反應與數量反應等資料。大湖草莓園田間釋放結果顯示，溫氏捕植蟎具有防治草莓二點葉蟎之效果，每次釋放天敵之有效期長達 4-6 週。天敵於網室與開放式田間具有不同的表現，網室內因爲其與外界隔離之特性，於釋放天敵後，天敵迅速發揮其壓致力，致使二點葉蟎滅絕，進而使天敵本身跟著滅絕，故適時補充釋放方克達防治葉蟎之效。 *A. womersley* 天敵能與草莓蟲病害管理所用的殺菌劑相容，即使於高量、高頻度的殺菌劑施用條件下，捕植蟎仍具顯著防治葉蟎效果，顯然溫氏捕植蟎適用於草莓園中綜合防治二點葉蟎。總之，本省產溫氏捕植蟎對草莓葉蟎具防治作用已無庸置疑；本省產之天敵價格廉於國外商品化之捕植蟎，實値得推廣與利用。如何大量繁殖溫氏捕植蟎，以降低生產成本及並提供大面積釋放防治葉蟎，爲今後之重要課題。

參考文獻

1. Ashihara, W., T. Hamamura, and N. Shinkaji. 1978. Feeding, reproduction, and development of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. Bull. Fruit Tree Res. Stn. Jpn. E2:91-98.

2. Bennison, J. A. and R. Jacobson. 1991. Integrated control of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in UK cucumber crops - evaluation of a controlled release system of introducing *Amblyseius cucumeris*. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent 56: 251-258.

3. Bynum, E. D. J., T. L. Archer, and F. W. J. Plapp. 1990. Action of insecticides to spider mites (Acari: Tetranychidae) on corn in the Texas high plains: toxicity, resistance, and synergistic combinations. J. Econ. Entomol. 83: 1236-1242.

4. Chang, H.Y. 1981. Population ecology of Tetranychid mites and their *Amblyseius* predators on mulberry groves. Master Thesis, Dept. Entomol., Natl. Chung-Hsing Univ., Taiwan, 98pp. (in Chinese, with English abstract).

5. Cheyrias, J. M. 1998. A strategy for biological and integrated control of cucumbers in greenhouses in France. [French]. First transnational workshop on biological, integrated and rational control: status and perspectives with regard to regional and European experiences, Lille, France, 21-23 January 1998 21-22.

6. Chiavegato, L. G. and M. M. Mischan. 1981. Damage caused by *Tetranychus (Tetranychus) urticae* (Koch, 1836) Boudreaux & Dosse, 1963 (Acari: Tetranychidae) to strawberry plants (Fragaria sp.) Brazil. Efeito do acaro *Tetranychus (T.) urticae* (Koch, 1836) Boudreaux & Dosse, 1963 (Acari: Tetranychidae) no desenvolvimento vegetativo do morangueiro (Fragaria sp.) cv. Campinas. An. Soc. Entomol. Bras. 10: 73-87.

7. Curry, G. L. and R. M. Feldman. 1979. Stochastic predation model with depletion. Can. Entomol. 111: 465-470.

8. Eveleigh, E. S. and D. A. Chant. 1981a. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the numerical response of immature and adult predators (Acarina: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 59: 1407-1418.

9. Eveleigh, E. S. and D. A. Chant. 1981b. The feeding and searching behaviour of two species of phytoseiid mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius degenerans* (Berlese), at different prey densities (Acarina: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 59: 1419-1430.

10. Eveleigh, E. S. and D. A. Chant. 1982a. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the effects of predator density on prey consump-

tion, predator searching efficiency and the functional response to prey density (Acarina: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 60: 611-629.

11. Eveleigh, E. S. and D. A. Chant. 1982b. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: the effects of predator density on immature survival, adult fecundity and emigration rates, and the numerical response to prey density (Acarina: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 60: 630-638.

12. Eveleigh, E. S. and D. A. Chant. 1982c. Experimental studies on acarine predator-prey interactions: distribution of search effort and predation rates of a predator population in a patchy environment (Acarina: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 60: 3001-3009.

13. Gauthier, C., C. Trouve, and A. C. Crepin. 1998. Integrated control trial against the yellow mite *Tetranychus urticae* in strawberry cultivation in northern France. [French]. First transnational workshop on biological, integrated and rational control: status and perspectives with regard to regional and European experiences, Lille, France, 21-23 January 1998 25-26.:-26.

14. GimenezFerrer, R. M., W. A. Erb, B. L. Bishop, and J. C. Scheerens. 1994. Host-pest relationships between the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) and strawberry cultivars with differing levels of resistance. J. Econ. Entomol. Feb:168-175.

15. Goodwin, S. 1990. Seasonal abundance and control of spider mites (Tetranychidae) infesting commercial strawberries in coastal New South Wales. Journal of the Australian Entomological Society 29:161-166.

16. Hardman, J. M. and M. L. Gogers. 1991. Effects of temperature and prey density on survival, development and feeding rates of immature *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae). Environ. Entomol. 20: 1089-1096.

17. Herron, G. A., V. E. Edge, L. J. Wilson, and J. Rophail. 1998. Organophosphate resistance in spider mites (Acari: Tetranychidae) from cotton in Australia. Experimental & Applied Acarology 22: 17-30.

18. Hessein, N. A. and M. P. Parrella. 1990. Predatory mites help control thrips on floriculture crops. California Agriculture 44: 19-21.

19. Ho, C. C. and W. Chen. 1996. Improvement on the chemical control of spider mites of eggplant. [Chinese]. Journal of Agricultural Research of China 45: 285-296.

20. Holling, C.S. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. Can. Entomol. 19: 385-398.
21. Holling, C.S. 1966. The functional response of invertebrate predators to prey density. Mem. Entomol. Soc. Can. 48: 1-86.
22. Huffaker, C. B., M. Van de Vrie and J. A. McMurtry. 1970. Ecology of tetrenychid mites and their natural enemies. II Tetranychid populations and their possible control by predator: An evaluation. Hilgardia 40: 391-458.
23. Janssen, A. and M. W. Sabelis. 1992. Phytoseiid life-histories, local predator-prey dynamics, and strategies for control of tetranychid mites. Experimental and Applied Acarology 14: 233-250.
24. Janssen, A., C. D. Hofker, A. R. Braun, N. Mesa, M. W. Sabelis, and A. C. Bellotti. 1990. Preselecting predatory mites for biological control: the use of an olfactometer. Bull. entomol. res. 80: 177-181.
25. Kim, S. S. and C. H. Paik. 1996. Relative toxicity of tebufenpyrad to the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* (Acarina: Phytoseiidae) and the spider mites, *Tetranychus urticae* and *T. kanzawai* (Acarina: Tetranychidae). [Korean]. Korean Journal of Entomology 26: 373-380.
26. Kim, Y. J., H. S. Lee, S. W. Lee, G. H. Kim, and Y. J. Ahn. 1999. Toxicity of Tebufenpyrad to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae) Under Laboratory and Field Conditions. Journal of Economic Entomology 92: 187-192.
27. Kondo, A., K. Chiwaki, and F. Tanaka. 1998. Development and population increase of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Green Form) (Acari: Tetranychidae) on different varieties of chrysanthemum. [Japanese]. Japanese Journal of Applied Entomology & Zoology 42: 28-30.
28. Krips, O. E., A. Witul, P. E. L. Willems, and M. Dicke. 1998. Intrinsic rate of population increase of the spider mite *Tetranychus urticae* on the ornamental crop gerbera: intraspecific variation in host plant and herbivore. Entomologia Experimentalis et Applicata 89: 159-168.
29. Laing, J. E. and J. A. L. Osborn. 1974. The effect of prey density on the functional and numerical response of three species of predatory mites. Entomophaga 19: 267-277.
30. Lee, T. F. 1997. Predator-prey interaction: Numerical responses of *Ambly-*

seius womersleyi Schicha on different stages, quantities and feeding intervals of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Phytoseiidae: Tetranychidae). Master Thesis, National Chung-Hsing Univ. , Taichung, Taiwan73.

31. Lee, Y., G. Kwon, S. Lee, H. Ryu, and O. Ryu. 1997. Density fluctuation of *Tetranychus urticae* and three predatory mite species (Phytoseiidae) by the differently infested levels. Korean Journal of Applied Entomology 36: 237-242.

32. Lo, K.C. and C.C. Ho. 1979. Influence of temperature on life history, predation and population parameters of *Amblyseius longispinosus*. J. Agric. Res. 28 (4): 237-250.

33. Manzali, D. 1994. Integrated control of strawberry. Colture Protette 23:39-41.

34. McMurtry, J. A., C. B. Huffaker and M. van de Vrie. 1970. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies : a review. I. Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray practices. Hilgardia 40: 331-458.

35. Momen, F. M. 1996. Effect of prey density on reproduction, prey consumption and sex-ratio of *Amblyseius barkeri* (Acari: Phytoseiidae). Acarologia 37: 3-6.

36. Mori, H., Y. Saito, and H. Nakao. 1990. Use of predatory mites for controlling spider mites (Acarina, Tetranychidae) in Japan. FFTC-NARC International Seminar on 'The use of parasitoids and predators to control agricultural pests', Tukuba Science City, Ibaraki-ken, 305 Japan, October 2-7, 1989 22 pp. 11 ref..

37. Paik, C. H. and S. S. Kim. 1996. Selective toxicity of flufenoxuron to the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* (Acarina: Phytoseiidae) and the spider mites, *Tetranychus urticae* and *T. kanzawai* (Acarina: Tetranychidae). [Korean]. Korean Journal of Entomology 26: 47-55.

38. Park, C. G., M. H. Lee, J. K. Yoo, J. O. Lee, and B. R. Choi. 1995. Relative toxicity of abamectin to the predatory mite *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae) and twospotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Korean Journal of Applied Entomology 34: 360-367.

39. Readshaw, J. L. 1973. The numerical response of predators to prey density. J. Appl. Ecol. 342-351.

40. Rogers, D. J. 1972. Random search and insect population models. J. Anim. Ecol. 41: 369-388.

41. Rossi, E. and B. Conti. 1997. Acaricide and insecticide resistance in some strains of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae) and of its predator *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae). [Italian]. Frustula Entomologica 20:-177.

42. Royama, T. 1971. A comparative study of models for predation and parasitism. Res. Popul. Ecol. 1: 1-91.

43. Sabelis, M. W. 1985. Predation on spider mites. pp. 103-129. In Helle, W. and M. W. Sabelis (eds.). Spider mites: Their biology, natural enemies and control. vol. 1B. Elsevier, Amsterdam.

44. Schade, M. and C. Sengonca. 1995. Field study on the effect of the release of two predators on the abundance of Thrips tabaci Lindner (Thysanoptera, Thripidae) on single caged leek plants in the field. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft fur Allgemeine und Angewandte Entomologie 10: 199-202.

45. Shih, C. I. and C. J. Wang. 1996. Spatial distribution of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) with special inferences from its behavior of collective egg deposition, life type, and dispersal activities. Chinese Journal of Entomology 16: 287-302.

46. Shih, C. I. T. 1984. Field evaluation of five species of *Amblyseius* on *Tetranychus kazawai*. Acarology 6: 710-716.

47. Shih, C. I. T. 1985. Biological control of mulberry spider mites, *Tetranychus kazawai*, with augmentation of *Amblyseius womersleyi*. In biological control of crop pest in Taiwan. Special Publication. No. 19, TARI. 21-27.

48. Shih, C. I. T. 1985. Biological control of mulberry spidermites, *Tetranychus kanzawai*, with augmentation of Amblyseius womersleyi. in A review of the biological control of crop pests in Taiwan (1981-1984). Special Publ. No. 19. , Taiwan Agri. Res. Institute21-27.

49. Shih, C. I. T. and J. N. Shieh. 1979. Biology, life table, predation potential and intrinsic rate of increase of *Amblyseius longispinosis* (Evans). Plant Protection Bull. 21: 175-183.

50. Shih, C. I. T., P. H. Hsu, Y. F. Hwang and H. Y. Chang. 1993. Responses

of *Amblyseius ovalis* (Evans) (Acarina: Phytoseiidae) to natural food resoures and two artificial diets. Exp. Appl. Acarol. 17: 504-519.

51. Shih, C. I. T., S. M. Hwang, and J. N. Shieh. 1978. Biology, life table, and intrinsic rate of increase, *Tetranychus kanzawai* (Kishida). Plant Protection Bull. 20:181-190.

52. Sirvinskas, J. and J. Zukauskiene. 1993. Importance of *Amblyseius mckenziei* Sch. et Pr. in regulating abundance of thrips in greenhouses. Acta Entomologica Lituanica 11.

53. Stenseth, C. 1979. Phytoseiidae, Tetranychidae on beans. Entomophaga. 24: 311-317.

54. Strong, W. B. and Croft, B. A. 1995. Inoculative release of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae) into the rapidly expanding canopy of hops for control of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). Environ. Entomol. 24: 446-453.

55. Toyoshima, S. and H. Amano. 1998. Effect of prey density on sex ratio of two predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). Experimental & Applied Acarology 22: 709-723.

56. Trjapitzin, S. V., B. L. Parker, M. Skinner, and T. Lewis. 1995. Biological control of Thrips tabaci on tobacco seedlings in Ukraine. Thrips biology and management: Proceedings of the 1993 International Conference on Thysanoptera 237-240; 9 ref..

57. Walsh, D. B., F. G. Zalom, and D. V. Shaw. 1998. Interaction of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) with yield of day-neutral strawberries in California. Journal of Economic Entomology 91: 678-685.

58. Wang, C. J. 1995. Functional responses of *Amblyseius ovalis* (Acari: Phytoseiidae) preying on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and their spatial distribution. Master Thesis, National Chung-Hsing Univ., Taichung, Taiwan 73.

59. Wermelinger, B., J. J. Oertli, and J. Baumgartner. 1991. Environmental factors affecting the life-tables of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) . III. Host-plant nutrition. Experimental and Applied Acarology 12: 259-274.

60. Wilson, L. J. 1994. Plant-quality effect on life-history parameters of the twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on cotton. J. Econ. Entomol. 87:

1665-1673.

61. Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1992a. Effects of host plant experience on foraging behavior the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 85: 775-783.

62. Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1992b. Short-Distance location of spider mite colonies by three predatory mites (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae): predator responses to prey- and predator associated stimuli. Environ. Entomol. 21: 799-807.

63. Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1993a. Hunger and effects on searching behavior of three species of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). Can. J. Zool. 71: 1997-2004.

64. Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1993b. Spatial scale of aggregation in tree acarine predator species with different degrees of polyphagy. Oecologia 96: 24-31.

65. Zhang, Z. Q. and J. P. Sanderson. 1995. Twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse roses: spatial distribution and predator efficacy. J. Econ. Entomol. 88: 352-357.

66. Zhang, Z.Q and B. A. Croft. 1995. Intraspecific competition in immature *Amblyseius fallacis, Amblyseius andersoni, Typhlodromus occidentalis* and *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae). Exp. Appl. Acarol. 19: 65-77.

67. Zhang, Z.Q., J. P. Sanderson and J. P. Nyrop. 1992. Foraging time and spatial patterns of predation in experimental populations. Oecologia 90: 185-196.

Abstract

Wang, C. J., C. I. T. Shih, J. C. Su, T. F. Lee, N. I. Sheu, and K. F. Pai. 2003. Predation, reproduction, and impact of *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on strawberry. p. 193-222. *in* : Proceedings of the Integrated Management of Crops Pests in Taiwan.

Reproduction rates and daily predation rates of *Amblyseius womersleyi* (AW) feeding on *Tetranychus urticae* (TSM) were positively correlated with TSM density. Rate of daily prey utilization of AW was the highest on 5 × 15 cm2 among all tested sizes and shapes of artificial arenas. The higher density was obtained from arena of AW feeding on 0.01 g or 0.005 g per day of prey eggs and larvae than feeding on nymphs and adults. The predatory mites, feeding on 0.01 g or 0.005 g of a TSM diet of eggs and larvae, other than nymphs and larvae, produced a higher density on the arena. The higher the amount of daily prey was offered, the higher the AW density was, but the lower the rate of prey utilization was. Feeding daily on 0.01 g of TSM eggs and larvae, AW produced the highest density, which could be sustained for a longer duration on the arena; therefore, a better measurement of the amount of daily prey offer was determined.

In the field and saran house tests for AW releases, with or without integrating fungicides or insecticides, we found a promising result of the measures, evaluated from a low population density. The densities and frequencies of AW in the released plots were higher than those without AW-release throughout the strawberry harvest season; the AW release kept TSM population in check at low density. In the saran house, AW quickly suppressed the TSM to low density on the strawberry plants. However, AW tend to emigrate or were missing from the house, control of re-invaded TSM population later was made unlikely. The re-invaded TSM, after 6-8 weeks of the first release of AW, would not be controlled by AW, and thus caused serious damage.

The releases of AW are compatible with selected insecticide and/or fungi-

cide; such integrated measures are effective in controlling TSM in strawberry systems and show a satisfying result with strawberry productivity. They also significantly reduce the amount and frequency of pesticide applications. In conclusion, we have proved that AW is a valuable biological control agent.

Key Words: *Amblyseius womersleyi*, *Tetranychus urticae*, Integrated control, Strawberry